延胡索酸对夏季幼兔生长性能、空肠发育及血清抗氧化和免疫指标的影响[1]

秦 枫 潘孝青 邵 乐 杨 杰* 翟 频 李 晟 李 健

(江苏省农业科学院畜牧研究所，南京 210014)

摘 要：本试验旨在研究有机酸化剂延胡索酸对夏季幼兔生长性能、空肠发育及血清抗氧化和免疫指标的影响。选择 90 只体重[（919.00±8.92） g]相近的 56 日龄獭幼兔，随机分成 3 组，每组 10 个重复，每个重复 3 只。对照组饲喂基础饲粮，延胡索酸组在基础饲粮中添加 0.05%延胡索酸，复合酸化剂组在基础饲粮添加 0.10%复合酸化剂。预试期 7 d，正试期 35 d。结果表明：1）与对照组相比，饲粮添加延胡索酸提高了幼兔终末体重和平均日增重（$P>0.05$），分别提高了 6.05%和 13.40%，并降低了死亡率（$P>0.05$）。2）与对照组相比，饲粮添加延胡索酸显著提高了粗蛋白质表观消化率（$P<0.05$），显著降低了磷表观消化率（$P<0.05$），且粗纤维表观消化率有提高的趋势（$P>0.05$）。3）与对照组相比，饲粮添加延胡索酸提高了空肠肠壁厚度、绒毛高度和绒毛高度/隐窝深度值（$P>0.05$），分别提高了 20.70%、9.83%和 18.60%，同时也降低了隐窝深度（$P>0.05$）。4）与对照组相比，饲粮添加延胡索酸提高了血清总抗氧化能力和超氧化物歧化酶活性（$P>0.05$），降低了血清丙二醛含量（$P>0.05$），有提高血清溶菌酶活性的趋势（$P>0.05$），对其他血清指标无显著影响（$P>0.05$）。由此可见，饲粮中添加延胡索酸可以改善夏季幼兔空肠发育，增强肠道吸收能力，提高蛋白质利用率，从而提高生长性能，同时能够提高机体抗氧化能力，促进机体健康。

关键词：幼兔；延胡索酸；生长性能；消化率；抗氧化

中图分类号：S829.1

幼兔饲养是家兔生产中的重要环节，断奶后生产力低是影响兔业发展的瓶颈问题。幼兔断奶后，肠道机能尚未发育完全，胃酸分泌不足，特别是夏季，加之营养、环境应激，胃肠道损

收稿日期：2017-09-02

基金项目：江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(14)2078)；国家兔产业技术体系南京综合试验站(CARS-44-E-7)

作者简介：秦 枫（1984-），男，江苏沭阳人，助理研究员，博士，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail：fqin1983@163.com

*通信作者：杨 杰，研究员，E-mail： jieyangbwx@tom.com

伤，营养物质消化率低，产生腹泻等症状，影响幼兔生产。传统养兔生产一般采用抗生素预防和治疗，有一定效果，但耐药性、抗生素残留等问题随之而来。有研究表明，酸化剂可以改善幼畜生长性能和健康状况。畜禽饲粮中添加适量的酸化剂可以弥补其生理性产酸不足，酸化剂能够调节动物肠道微生物平衡，增殖有益菌、抑制有害菌，提高动物抗应激和免疫力，降低肠道 pH，增强消化酶活性，提高营养物质消化率，从而提高生长性能[1-6]。酸化剂对幼畜健康有积极的影响，但由于试验动物品种、年龄、试验条件、添加量等不同，试验的结果变异很大，特别是仔幼兔方面，类型、添加量方面的研究相对较少。前期，我们研究了苹果酸对獭兔生长性能的影响及其适宜添加量[7]，而本试验旨在夏季幼兔饲粮中添加有机酸化剂——延胡索酸，探讨其对夏季幼兔生长性能、空肠发育、血清抗氧化和免疫指标的影响，为酸化剂在幼兔生产中的应用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

延胡索酸购于苏州优合科技有限公司，复合酸化剂（酸赐宝）购于广东绿生源饲料科技有限公司。

1.2　试验设计

选择 90 只体况良好、体重[（919.00±8.92） g]相近的 56 日龄獭幼兔作为试验动物，试验前统一免疫，随机分为 3 组，每组 10 个重复，每个重复 3 只。对照组饲喂基础饲粮，延胡索酸组在基础饲粮中添加 0.05%延胡索酸，复合酸化剂组在基础饲粮添加 0.10%复合酸化剂。预试期 7 d，正试期 35 d。试验地点在江苏省农业科学院六合试验兔场。

1.3 试验饲粮

试验饲粮配制参照 NRC（1977）家兔饲养标准[8]和谷子林[9]推荐的獭兔营养需要。消化能供给量为 1.2 倍的维持需要。延胡索酸和复合酸化剂先预混合后添加至饲粮中制成颗粒饲喂，添加量根据前期其他酸化剂试验结果。基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成（风干基础）及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition (air-dry basis) and nutrient levels (DM basis) of the basal diet　　%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels[2]	含量 Content
草粉 Hay	40.0	干物质 DM	90.09
玉米 Corn	22.0	消化能 DE/（MJ/kg）	11.58
麦麸 Wheat barn	20.7	粗蛋白质 CP	16.85
豆粕 Soybean meal	10.0	粗纤维 CF	14.30
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	2.0	钙 Ca	1.20
食盐 NaCl	0.3	总磷 TP	1.15
预混料 Premix[1]	5.0	赖氨酸 Lys	0.96
合计 Total	100.0	蛋氨酸 Met	0.52

[1]每千克预混料含 Per kg of premix contained：$FeSO_4 \bullet H_2O$ 5 320 mg，$CuSO_4 \bullet 5H_2O$ 1 080 mg，$MnSO_4 \bullet H_2O$ 560 mg, $ZnSO_4 \bullet H_2O$ 3 652 mg，$CoCl_2 \bullet 6H_2O$ 1 000 mg，VA 180 000 IU，VD 18 000 IU，VE 900 000 IU。

[2] 实测值。Measured values.

1.4 饲养管理

试验前对兔舍兔笼进行彻底清扫、消毒。试验兔 3 只为 1 笼，每天饲喂 2 次，分别在 08:30 和 15:30，试验幼兔饲喂配合饲料，颗粒料，长度为 2~3 cm，自由饮水，每天清扫卫生，并做好各种记录。预试期内进行分组、打耳号。

1.5 样品采集与指标测定

试验开始和结束时对试验兔称重，记录初始体重和终末体重，计算平均日增重；记录试验兔的死亡数量并计算死亡率。

营养物质表观消化率测定采用全收粪法，在试验第 21 天，连续收粪 5 d，记录采食量，粪量。饲粮及粪中干物质（DM）、粗蛋白质（CP）、粗纤维（CF）、钙（Ca）、磷（P）含量采用 AOAC[10]规定方法进行测定。

在试验期第 35 天采血，分离血清，-20 ℃保存用于血清抗氧化和免疫指标的测定，按照检测试剂盒（南京建成生物工程研究所）规定的方法进行检测。

在试验结束时，幼兔称重，每组各随机抽取体重相近獭兔 5 只，空腹 24 h 后进行屠宰，取空肠中段组织，4%多聚甲醛固定，制成石蜡切片，苏木精-伊红（HE）染色。使用倒置显微镜（附带相机），目镜为 10 倍、物镜为 4 倍条件下观察，每张切片随机观察 10 个视野。应用 Q-capture Pro 6.0 软件获得组织切片照片，Image-pro plus 6.0 图像分析系统进行分析，测量肠壁厚度、绒毛高度、绒毛高度，计算绒毛高度/绒毛高度值。

1.6 数据分析

运用 Excel 2007 整理数据，采用 SPSS 17.0 进行单因素方差分析（one-way ANVOA），Duncan 氏法多重比较，P<0.05 为显著差异。

2 结果与分析

2.1 延胡索酸对夏季幼兔生长性能及营养物质表观消化率的影响

由表 2 可知，与对照组相比，饲粮添加延胡索酸和复合酸化剂均提高了夏季幼兔终末体重和平均日增重（P>0.05），降低了死亡率（P>0.05）。与对照组相比，延胡索酸组终末体重提高了 6.05%，平均日增重提高了 13.40%，但无显著差异（P>0.05）。由此可见，饲粮添加延胡索酸可提高夏季幼兔的生长性能。

表 2 延胡索酸对夏季幼兔生长性能的影响

Table 2 Effects of fumaric acid on growth performance of young rabbits in summer

项目 Items	对照组 Control group	延胡索酸组 Fumaric acid group	复合酸化剂组 Compound acidifier group
初始体重 Initial body weight/g	917.5±15.4	923.8±16.5	915.7±15.0
终末体重 Initial body weight/g	1 453.0±45.8	1 540.9±63.3	1 506.6±45.6
平均日增重 Average daily gain/g	14.2±1.2	16.1±1.4	15.6±1.1
死亡率 Mortality/%	13.30	6.67	6.67

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the

same or no letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05). The same as below.

由表 3 可知，延胡索酸组、复合酸化剂组粗蛋白质表观消化率均显著高于对照组（*P*<0.05），而延胡索酸组、复合酸化剂组磷表观消化率均显著低于对照组（*P*<0.05）。延胡索酸组、复合酸化剂组粗纤维表观消化率均高于对照组（*P*>0.05）。由此可见，饲粮中添加延胡索酸和复合酸化剂均有利于促进蛋白质的消化。

表 3　延胡索酸对夏季幼兔营养物质表观消化率的影响

Table 3　Effects of fumaric acid on nutrient apparent digestibility of young rabbits in summer

项目 Items	对照组 Control group	延胡索酸组 Fumaric acid group	复合酸化剂组 Compound acidifier group
粗蛋白质表观消化率 CP apparent digestibility	54.9±5.7[b]	66.8±1.7[a]	70.2±2.2[a]
粗纤维表观消化率 CF apparent digestibility	32.6±7.9	35.8±1.9	39.0±5.8
钙表观消化率 Ca apparent digestibility	59.1±5.8	64.3±2.4	56.7±4.6
磷表观消化率 P apparent digestibility	88.3±0.3[a]	86.6±0.4[b]	87.1±0.3[b]

2.2　延胡索酸对夏季幼兔空肠发育的影响

由表 4 可知，与对照组相比，饲粮添加延胡索酸能够提高空肠肠壁厚度、绒毛高度和绒毛高度/隐窝深度值（*P*>0.05），分别提高了 20.7%、9.83%和 18.6%，同时也降低了空肠隐窝深度（*P*>0.05）。

表 4　延胡索酸对夏季幼兔空肠发育的影响

Table 4　Effects of fumaric acid on jejunum development of young rabbits in summer

项目 Items	对照组 Control group	延胡索酸组 Fumaric acid group	复合酸化剂组 Compound acidifier group

肠壁厚度 Intestinal wall thickness/μm	201.4±22.0	243.0±15.8	225.1±16.5
绒毛高度 Villous height/μm	629.0±29.9	690.8±106.8	619.0±41.8
隐窝深度 Crypt depth/μm	97.1±7.8	90.0±7.4	86.2±4.3
绒毛高度/隐窝深度 V/C	6.56±0.36	7.78±1.25	7.31±0.79

2.3 延胡索酸对幼兔血清抗氧化和免疫指标的影响

由表 5 可知，延胡索酸组血清总抗氧化能力（T-AOC）和超氧化物歧化酶（SOD）活性均高于对照组，且血清丙二醛（MDA）含量低于对照组，但均无显著差异（P>0.05）。

表 5 延胡索酸对夏季幼兔血清抗氧化指标的影响

Table 5 Effects of fumaric acid on serum antioxidant indicators of young rabbits in summer

项目 Items	对照组 Control group	延胡索酸组 Fumaric acid group	复合酸化剂组 Compound acidifier group
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	288.2±15.0	307.7±30.7	302.9±21.9
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	4.15±0.82	2.45±0.33	3.32±0.36
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	455.2±19.9	452.4±29.9	390.5±32.1
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	5.23±1.54	6.41±1.44	4.02±0.23

由表 6 可知，与对照组相比，饲粮添加延胡索酸、复合酸化剂对血清免疫球蛋白 G（IgG）、免疫球蛋白 A（IgA）、免疫球蛋白 M（IgM）、补体 3（C3）、补体 4（C4）含量及碱性磷酸酶（AKP）、溶菌酶（LZM）活性均无显著影响（P>0.05），但血清 LZM 活性有提高的趋势。

表 6 延胡索酸对夏季幼兔血清免疫指标的影响

Table 6 Effects of fumaric acid on serum immunity indicators of young rabbits in summer

项目 Items	对照组 Control group	延胡索酸组 Fumaric acid group	复合酸化剂组 Compound acidifier group

溶菌酶 LZM/(U/mL)	162.1±26.8	269.5±62.6	178.9±9.4
碱性磷酸酶 AKP/(金氏单位/dL)	13.4±0.9	12.9±2.0	14.7±0.5
免疫球蛋白 G IgG/(μg/mL)	190.2±20.5	156.9±14.9	168.3±6.6
免疫球蛋白 A IgA/(μg/mL)	51.5±5.4	49.9±3.4	53.9±2.1
免疫球蛋白 M IgM/(μg/mL)	30.5±4.5	29.9±2.4	32.7±0.8
补体 3 C3/(μg/mL)	8.52±0.61	7.87±0.52	7.96±0.23
补体 4 C4/(μg/mL)	43.10±5.11	40.80±3.21	43.50±0.99

3 讨 论

3.1 延胡索酸对夏季幼兔生长性能及营养物质表观消化率的影响

延胡索酸又叫富马酸，广泛应用于食品生产加工工艺中，作为食品酸味剂，具有抑菌、防腐的功效；对于单胃动物，作为酸化剂和饲料保存剂，延胡索酸可以通过降低胃肠道 pH、抑制饲料霉变而促进动物的健康，提高生长性能。王杰等[11]研究发现，饲粮添加复合酸化剂可以显著提高断奶仔猪的平均日增重，降低腹泻率，蛋白质、干物质表观消化率也有所提高。Palamidi 等[12]研究发现，饲粮添加酸化剂可以提高肉鸡生长性能、营养物质表观消化率及能量沉积。Zhu 等[13]研究发现，生长兔饮用有机酸酸性水可以部分改善生长性能，补偿胃酸酸度，影响盲肠微生物群落结构，其中饮水最适宜 pH 为 4.3。本试验中，饲粮添加延胡索酸能够提高夏季幼兔粗蛋白质、粗纤维的表观消化率，提高终末体重和平均日增重。李春华等[14]研究报道，饲粮添加不同浓度延胡索酸能够不同程度提高奶牛粗蛋白质、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维的表观消化率。饲粮中添加延胡索酸也可以显著提高断奶仔猪平均日增重，降低料重比和腹泻率[15]。其他酸化剂研究中也得到相似的结果，潘孝青等[7]研究发现，饲粮添加适宜的苹果酸可以提高獭兔的生长性能和营养物质表观消化率，与本次试验结果相一致。王凯英等[16]研究发现，水貂饲粮中添加 1.5%乳酸，能调节饲料和胃肠道 pH，进而获得最佳生长性能。近年，柠檬酸研究报道也较多，Zhang 等[17]研究发现，饲粮添加 0.8%~1.6%柠檬酸可以提高饲喂高植物蛋白质饲粮大黄鱼的生长性能，因为酸化剂可以提高矿物质生物学利用率，增强肠道抗氧化能力及肠道恢复能力。Liu 等[18]研究发现，饲粮添加柠檬酸对妊娠后期和哺乳期母猪生产性能和窝产性能无显

著影响，但饲粮添加 10 和 15 mg/kg 柠檬酸可以增强母猪钙、磷、蛋白质的吸收，改善体液免疫功能，通过初乳和母乳使仔猪获益。因此，生产中，饲粮添加适宜的酸化剂可以改善幼畜的健康，提高生长性能。

3.2　延胡索酸对夏季幼兔空肠发育的影响

肠道形态发育是影响幼兔生长健康的重要因素，仔兔断奶后由吮吸母乳过渡到采食固体饲料的过程中，容易导致小肠绒毛萎缩和隐窝加深，影响幼兔肠道发育，从而影响生长及健康。晏家友等[19]研究发现，仔猪饲粮添加缓释复合酸化剂极显著提高了空肠绒毛高度/隐窝深度值，改善了肠道发育，与林映才等[20]研究早期断奶仔猪饲粮添加复合酸化剂得到的结果基本一致。李鹏等[21]研究发现，断奶仔猪饲粮中添加 2 种复合酸化剂都可以显著增加小肠绒毛的高度，降低隐窝深度。肉鸡生产中，饲粮添加复合酸化剂可以提高肉鸡 21 日龄十二指肠绒毛高度，降低隐窝深度，同时提高 21 和 42 日龄空肠的绒毛高度[22]。本次试验研究也得到相似的结果，饲粮添加延胡索酸能够提高空肠肠壁厚度、绒毛高度、绒毛高度/隐窝深度值，降低了隐窝深度。由此可见，饲粮添加适宜的延胡索酸可以改善幼畜肠道发育及健康，改善肠道的消化吸收，从而提高幼兔的生长性能。

3.3　延胡索酸对夏季幼兔血清抗氧化和免疫指标的影响

本试验研究发现，与对照组相比，饲粮添加延胡索酸能够提高血清 T-AOC 和 SOD 活性，降低血清 MDA 含量，但对血清 IgG、IgA、IgM 等指标含量无显著影响，仅血清 LZM 活性有提高的趋势，因此延胡索酸有可能提高幼兔的抗氧化性能，免疫效果不显著。李鹏等[21]研究发现，饲粮添加复合酸化剂可以显著提高仔猪血清中 IgA、IgG 的含量，提高仔猪的免疫水平。郭骥[23]研究发现，复合酸化剂能够提高仔猪平均日增重与母猪泌乳期采食量，提高母猪乳中抗氧化能力，对母猪乳常规成分、免疫功能无显著影响。张德成等[24]报道，饲粮添加柠檬酸可提高哺乳仔猪细胞免疫功能。但张秀文等[15]研究表明，饲粮添加 1%延胡索酸对提高断奶仔猪的免疫性能效果不明显，但并无负面的反应，这与本次试验的研究结果相一致。李建平等[25]研究报道，饲粮添加酸化剂对断奶仔猪的免疫功能没有显著影响，且柠檬酸显著提高了早期断奶仔猪的抗氧化能力，机体清除自由基的能力增强，有助于提高断奶仔猪的抗应激能力。周岭等[26]研究报

道，饲粮添加复合酸化剂能显著降低鸡蛋脏蛋率，降低输卵管中 MDA 的产生，缓解脂质过氧化反应，且能显著抑制输卵管沙门氏菌的生长。沈家鲲等[27]研究发现，生长期蛋雏鸡饲粮中添加复合酸化剂，对改善雏鸡的免疫性能及血液中抗氧化指标具有一定的促进作用。由此可见，饲粮添加酸化剂能够改善机体的抗氧化能力，对免疫性能影响还需进一步研究。

4 结 论

饲粮中添加延胡索酸可以提高夏季幼兔生长性能，降低死亡率，改善肠道发育，提高肠道消化吸收能力，提高粗蛋白质表观消化率，增强机体的抗氧化能力，促进机体健康。

参考文献：

[1] 秦圣涛,张宏福,唐湘方,等.酸化剂主要生理功能和复合酸选配依据[J].动物营养学报,2007,19(1S):515–520.

[2] 马鑫,马秋刚,计成,等.蛋氨酸羟基类似物和有机酸化剂对主要肠道病原菌体外抑菌效果的比较[J].动物营养学报,2008,20(2):238–241.

[3] MROZ Z.Some developments on Dutch nutritional approaches to protect piglets against post-weaning gastrointestinal disorders in the absence of in-feed antibiotics[J].Journal of Animal and Feed Sciences,2001,10(1S):153–167.

[4] MROZ Z.Organic acids as potential alternatives to antibiotic growth promoters for pig[J].Advances in Pork Production,2005,16:169–182.

[5] ROTH F X,KIRCHGESSNER M.Organic acids as feed additives for young pigs:nutritional and gastrointestinal effects[J].Journal of Animal and Feed Sciences,1998,7(1S):25–33.

[6] KLUGE H,BROZ J,EDER K.Effect of benzoic acid on growth performance,nutrient digestibility,nitrogen balance,gastrointestinal microflora and parameters of microbial metabolism in piglets[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2006,90(7/8):316–324.

[7] 潘孝青,杨杰,邵乐,等.苹果酸对断奶獭兔生产性能、营养物质表观消化率及血清生化指标的影响[J].江苏农业学报,2013,29(1):136–139.

[8] NRC.Nutrition Requirements of rabbits[S].Washington D.C.:National Academy Press,1977.

[9] 谷子林.断乳仔兔腹泻发生机制及生物活性物质的调控研究[D].博士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2004.

[10] AOAC.Official methods of analysis[M].15th ed.Arlington,Virginia:Association of official Analytical Chemists,1990:40–90.

[11] 王杰,陈玉林.复合酸化剂对断奶仔猪生产性能和饲料表观消化率的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2010(13):77–79.

[12] PALAMIDI I,PARASKEUAS V,THEODOROU G,et al.Effects of dietary acidifier supplementation on broiler growth performance,digestive and immune function indices[J].Animal Production Science,2016,57(2):271–281.

[13] ZHU K H,XU X R,SUN D F,et al.Effects of drinking water acidification by organic acidifier on growth performance,digestive enzyme activity and caecal bacteria in growing rabbits[J].Animal Feed Science and Technology,2014,190:87–94.

[14] 李春华,高艳霞,曹玉凤,等.日粮中添加不同浓度的延胡索酸对奶牛生产性能及消化代谢率的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2011(5):64–66.

[15] 张秀文,齐遵利,任晓慧,等.延胡索酸和芽孢杆菌对断奶仔猪生产性能及免疫机能的影响[J].饲料工业,2008,29(2):12–14.

[16] 王凯英,鲍坤,徐超,等.饲料酸化剂对冬毛期水貂生产性能和血清生化指标的影响[J].东北农业大学学报,2012,43(12):78–85.

[17] ZHANG H L,YI L N,SUN R J,et al.Effects of dietary citric acid on growth performance,mineral status and intestinal digestive enzyme activities of large yellow croaker *Larimichthys crocea* (Richardson,1846) fed high plant protein diets[J].Aquaculture,2016,453:147–153.

[18] LIU S T,HOU W X,CHENG S Y,et al.Effects of dietary citric acid on performance,digestibility of calcium and phosphorus,milk composition and immunoglobulin in sows during late gestation and lactation[J].Animal Feed Science and Technology,2014,191:67–75.

[19] 晏家友,贾刚,王康宁,等.缓释复合酸化剂对断奶仔猪消化道酸度及肠道功能的影响[J].畜牧兽医学报,2009,40(12):1747–1754.

[20] 林映才,陈建新,蒋宗勇,等.复合酸化剂对早期断奶仔猪生产性能、血清生化指标、肠道形态和微生物区系的影响[J].养猪,2001(1):13–16.

[21] 李鹏,武书庚,张海军,等.复合酸化剂对断奶仔猪肠黏膜形态和肠道微生物区系及免疫功能的影响[J].中国畜牧杂志,2009,45(9):28–32.

[22] 罗四维.复合酸化剂对肉仔鸡生产性能和消化道内环境的影响[D].硕士学位论文.扬州:扬州大学,2010.

[23] 郭骥.不同猪舍环境与饲粮添加复合酸化剂对母猪生产性能及抗氧化能力的影响[D].硕士学位论文.广州:华南农业大学,2016.

[24] 张德成,吴润培,陈思义,等.哺乳仔猪胃内酸度的变化对红细胞免疫功能的影响[J].饲料工业,1994,15(7):28–29.

[25] 李建平,单安山,徐奇友.不同类型酸化剂对早期断奶仔猪胃酸分泌、免疫功能和抗氧化机能的影响[J].东北农业大学学报,2009,40(4):69–73.

[26] 周岭,丁雪梅,罗玉衡,等.复合酸化剂和微生态制剂对蛋鸡生产性能、血液生化指标、抗氧化指标及沙门氏菌感染的影响[J].动物营养学报,2016,28(8):2571–2580.

[27] 沈家鲲,曹岩峰,梁先伟,等.复合酸化剂对海兰褐蛋雏鸡生长、免疫性能和血清抗氧化能力的影响[J].中国家禽,2017,39(8):48–51.

Effects of Fumaric Acid on Growth Performance, Jejunum Development and Serum Antioxidant and Immunity Indicators of Young Rabbits in Summer

QIN Feng PAN Xiaoqing SHAO Le YANG Jie* ZHAI Pin LI Sheng LI Jian

(*Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Institute of Animal Science, Nanjing* 210014, *China*)

Abstract: The aim of the present study was to evaluate the effects of fumaric acid on growth

performance, jejunum development and serum antioxidant and immunity indicators of young rabbits in summer. Ninety 56-day-old Rex rabbits with similar body weight [(919.00±8.92) g] were randomly assigned to 3 groups with 10 replicates per group and 3 rabbits per replicate. Rabbits in the control group were a fed basal diet, rabbits in the fumaric acid group were fed the basal diet supplemented with 0.05% fumaric acid, and the others in the compound acidifier group were fed the basal diet supplemented with 0.10% compound acidifier. The pre-experimental period lasted for 7 days, and the experimental period lasted for 49 days. The results showed as follows: 1) compared with the control group, dietary fumaric acid increased the final body weight and average daily gain （$P>0.05$）, and increased by 6.05% and 13.40%, respectively; and decreased the mortality （$P>0.05$）. 2) Compared with the control group, dietary fumaric acid significantly increased the crude protein apparent digestibility ($P<0.05$), significantly decreased the phosphorus apparent digestibility ($P<0.05$), and the crude fiber apparent digestibility had a increased tendency （$P>0.05$）. 3) Compared with the control group, dietary fumaric acid increased the intestinal wall thickness, villous height and ratio of villous height to crypt depth of jejunum （$P>0.05$）, increased by 20.70%, 9.83% and 18.60%, respectively; and decreased the crypt depth （$P>0.05$）. 4) Compared with the control group, dietary fumaric acid increased the serum total antioxidant capacity and superoxide dismutase activity（$P>0.05$）, decreased the serum malondialdehyde content （$P>0.05$）, and had the tendency to improve serum lysozyme activity（$P>0.05$）, but had no significant effects on other serum indicators（$P>0.05$）. In conclusion, in summer, dietary fumaric acid can improve jejunum development of young rabbits, enhance the intestinal absorption ability, and increase the utilization of protein, thus further improve the growth performance, and also can improve the body antioxidant ability, promote the body health.

Key words: young rabbits; fumaric acid; growth performance; digestibility; antioxidant

---

*Corresponding author, professor, E-mail： jieyangbwx@tom.com （责任编辑　武海龙）